

PROYECTO DE ESTRUCTURAS DE STEEL FRAMING.

Borja Cruz López¹

Resumen

El artículo que se presenta, aborda el proceso de diseño de estructuras con perfilera delgada de acero galvanizado, sistema conocido como LGSF (Light Gauge Steel Framing). Por un lado se pondrá en contexto el sistema, aún con poca difusión en España, se explicarán los métodos de análisis para abordar el diseño de este tipo de estructuras y se mostrarán ejemplos ejecutados recientemente que darán buena muestra de la versatilidad del sistema. La idea principal que se quiere transmitir, es la importancia de considerar este sistema como un sistema constructivo a la par que estructural. Esto obliga a pensar el modo en cómo se construye la estructura pero a la vez permitirá simplificar el cálculo estructural.

INTRODUCCIÓN

El primer prototipo con el sistema LGSF aparece en la feria de Chicago de 1933. Y desde entonces empezó a desarrollarse en países principalmente anglosajones donde el uso del “balloon framing” (piezas de madera aserrada de pequeña sección transversal formando la estructura) era la tipología residencial más común. Aunque en España el steel framing esté considerado un método constructivo novedoso, en países como EEUU, Canadá, Japón, Gran Bretaña, Australia y Nueva Zelanda es considerado un método de construcción tradicional. El uso de perfiles de acero galvanizado de pequeño espesor se ha usado en España como correas en edificios industriales o como subestructuras para fachadas o cubiertas y hasta ahora ha tenido poca difusión como sistema estructural para edificación porque tiene que luchar contra la prevalencia de sistemas tradicionales y se enfrenta tanto al desconocimiento generalizado del público como de los profesionales de la construcción.

Sin embargo el uso de sistemas eficientes de construcción con el objeto de aumentar la productividad, disminuir los desperdicios y reducir tiempos de eje-

¹ Arquitecto en Galvanalisis, borja@galvanalisis.com

cución, añadido a la implementación de nuevos estándares de calidad y ahorro energético permitirá en los próximos años impulsar el steel framing.

VENTAJAS DEL STEEL FRAMING

En mi experiencia la ventaja del uso del steel framing en edificación es incuestionable cuando se trata de rehabilitación. El poco peso de los perfiles, permite usarlos sin necesidad de medios auxiliares. Hace posible construir un nuevo forjado sin introducir cargas a la estructura existente. Permite elevar alturas sobre edificaciones existentes sin tener que reforzar la cimentación. Su uso como sistema estructural para edificación permite conseguir importantes ahorros sobre todo en la parte de cimentación, dado que las cargas transmitidas al terreno son muy inferiores a las de cualquier sistema tradicional, en la mayoría de los casos, una solera de 15 cm es suficiente. Además no se generan apenas residuos ni pérdidas de material y permite conseguir un gran aislamiento térmico con reducidos espesores de muro. Pero si hay que destacar alguna ventaja sobre las demás es sin duda su rapidez del montaje.

MÉTODOS DE CÁLCULO

En el proyecto de estructuras de chapa delgada tenemos que buscar los referentes en la normativa americana. El AISI (American Iron and Steel Institute) es reconocida como la institución líder a nivel internacional del proyecto de estructuras conformadas en frío. Desde 1946 a 1986, se utilizaba el Método de Esfuerzos Permisibles o **ASD** (por sus siglas del inglés: “Allowable Stress Design”), como único método avalado por las especificaciones del AISI.

En 1978, se sentaron las bases de un nuevo criterio de diseño denominado Diseño por Factor de Carga y Resistencia o **LRFD** (por sus siglas del inglés: “Load and Resistance Factor Design”). La AISI publicó la primera edición de las especificaciones LRFD en 1991 y en 1996 las especificaciones de ASD y LRFD se presentaron en la misma publicación, y desde entonces ambas formas de cálculo pueden ser usadas a conveniencia del arquitecto/ingeniero.

Sin embargo el método LRFD representa un avance notable sobre el ASD, ya que permite tomar en cuenta en diseño los diversos grados de incertidumbre y variabilidad en la estimación de resistencias y cargas, así como la incorporación de modelos probabilísticos que permiten obtener una confiabilidad más consistente en el diseño. El método LRFD es seguido por la normativa de Canadá, donde se llama LSD (Limit States Design) y por los Eurocódigos (Estados Límites).

En **España**, las bases del proyecto de estas estructuras se basa en las normas Europeas (Eurocódigo 3 -Diseño de estructuras de acero- Parte 1-3 – Reglas

suplementarias para el diseño de elementos de chapa conformados en frío).

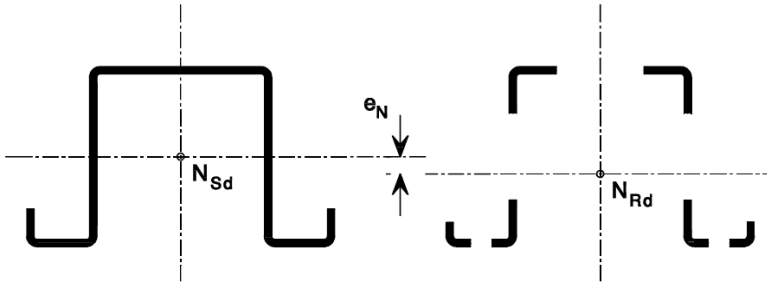
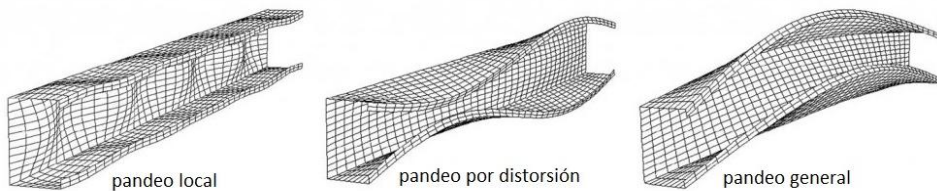


Figura 1: sección bruta y eficaz de perfil genérico sometido a compresión (EN 1993 1-3, Fig 6.1)

El método de cálculo seguido por el Eurocódigo al igual que la normativa americana plantea el obtener las **secciones eficaces** de los elementos de las piezas para tener en cuenta las posibilidades de pandeo local, por distorsión, o general, (EN 1993-1-3, 5.5) y deducir su capacidad portante (EN 1993-1-1), considerando las secciones iniciales como de **clase 4**.

Una vez obtenida la sección eficaz de la sección, en el diseño de la sección a compresión debe seguirse las recomendaciones de EN 1993-1-3, apartados 6.1.2 y 6.1.3. El análisis de los elementos sometidos a flexión tiene también en cuenta las secciones eficaces a que dan lugar las compresiones, aunque en este caso solamente una de las zonas (la zona alrededor del ala superior en el caso de momentos positivos o la que se encuentra en la zona inferior en el caso de momentos negativos) quedará penalizada.

El tratamiento del pandeo general, local y distorsional se aborda por separado, sin considerar la influencia de los pandeos de las alas contiguas.



Pero a partir la norma AISI de 2001 introduce el **DSM** (Direct Strength Method) y es adoptado como un método alternativo de cálculo a partir de 2004 y recogido como tal en la normativa de Australia/Nueva Zelanda. Este método evalúa simultáneamente los tres pandeos posibles en los perfiles lo que implica un reenfoque del trabajo. El DSM emplea las propiedades de la sección bruta pero requiere un cálculo exacto del comportamiento del pandeo de las piezas.

Para este cálculo de estabilidad pueden usarse métodos numéricos, así como métodos de bandas finitas como por ejemplo el programa CUPSM (creado por el profesor B.Schafer). La fiabilidad del método está testado para secciones convencionales de vigas y columnas dado que las curvas de pandeo están corregidas según ensayos empíricos y en fase de implementación para un más amplio rango de perfiles. Seguramente este método será el estándar en el cálculo de estructuras de steel framing también en Europa en un futuro cercano.

DE LA TEORIA A LA PRÁCTICA

El cálculo de estructuras de steel framing en España puede resultar arduo a priori. La normativa aplicable es el CTE con su respectivo documento básico de acero DB-S-A, pero no hay un capítulo sobre estructuras ligeras por lo que han de tratarse como perfiles de clase 4 (secciones esbeltas). La instrucción EAE está basada en el Eurocódigo 3 -Diseño de estructuras de acero- Parte 1-3 – (Reglas suplementarias para el diseño de elementos de chapa conformados en frío), que es el referente para el cálculo de estas estructuras de chapa delgada en Europa. En edificación, muchas de las consideraciones a tener en cuenta para la comprobación de perfiles pueden pasarse por alto por razones constructivas, veamos algunos ejemplos:

En el caso del abollamiento del alma debido a la acción de cargas puntuales el EN 1993-1-3 apartado 6.1.7 considera la contribución de la rigidez del alma pero en edificación lo normal es colocar casquillos tanto para facilitar el montaje como para fijar las viguetas, por lo que se controla el problema del abollamiento del alma (figura 2 izquierda):



Figura 2: Casquillos en extremo de viga./Tabique portante con OSB en la cara exterior y omegas cada 60 cm en la cara interior.

El pandeo distorsional de las alas de los perfiles sometidos a flexión o compresión se introdujo en la AISI en el 2007. Hasta entonces este problema

había sido ignorado y sin embargo este hecho prueba que su efecto en estructuras de edificación, no ha provocado problemas de mención. El motivo de poder dormir tranquilos habiendo obviado este fenómeno, es la realidad constructiva de los tabiques y forjados de steel framing. En las estructuras, las placas de OSB y las omegas atornilladas a las alas impiden la iniciación del pandeo de las alas, por lo tanto es razonable que no se tenga que realizar verificaciones de pandeo distorsional.(figura 2 derecha)

Otros fenómenos como la torsión de las viguetas tampoco puede darse cuando tenemos tablero de OSB o chapa grecada fijado de forma adecuada al ala comprimida.

El tecleo en los forjados es un fenómeno a tener en cuenta cuando usamos tablero para el forjado. Se ha comprobado que no resulta correcto, en general, diseñar trenes de viguetas no unidos entre sí más de 2.5 m. Hay muchos modos de conseguir esta unión. Se muestran dos métodos que usamos habitualmente.

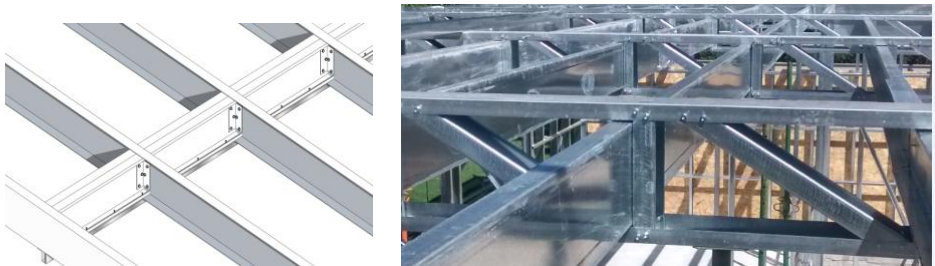
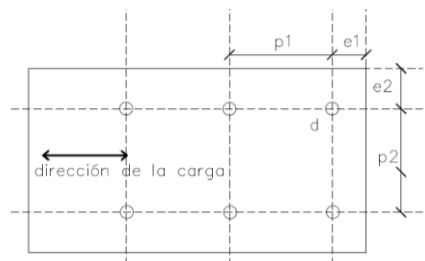


Figura 3: Soluciones para evitar el tecleo.

En el esquema de la izquierda se fijan las viguetas mediante otro perfil, usando angulares para fijar las almas de los perfiles. La continuidad se hace por arriba con el tablero y por la parte inferior fijando una omega. En la imagen de la derecha se muestra como se usan celosias en la que la continuidad la garantizan los cordones superior e inferior.

Las uniones se pueden diseñar empleando el principio de que cualquier distribución posible de fuerzas en equilibrio con las solicitaciones exteriores supone un límite por debajo de la capacidad resistente de la unión. Para que eso pueda darse la unión debe ser suficientemente dúctil, lo que se consigue siempre que no sean los tornillos los que controlen la resistencia de la unión y ésta sea compacta.



DISTANCIAS: $e1 > 3d$, $p1 > 3d$, $e2 > 1.5d$, $p2 > 3d$,
 $3.0 \text{ mm} < d < 8.0 \text{ mm}$.

EJEMPLOS

A continuación se mostrarán dos ejemplos contruidos recientemente que servirán para mostrar la versatilidad estructural del sistema.

Vivienda Unifamiliar en La Moraleja (Madrid)

El ejemplo mostrado a continuación nace como una rehabilitación, donde la parte aérea de la vivienda existente se elimina para construir sobre el forjado de planta baja, dos nuevas plantas. La elección del steel framing, permitió construir sobre dicho forjado sin necesidad de reforzar la cimentación.

El proyecto, a cargo de los arquitectos Manuel Marín y Antonio Esteve, quería revitalizar una vivienda dándole líneas geométricas puras y se buscaba generar espacios amplios y diáfanos, con el salón como espacio principal de dimensión 8x10m.

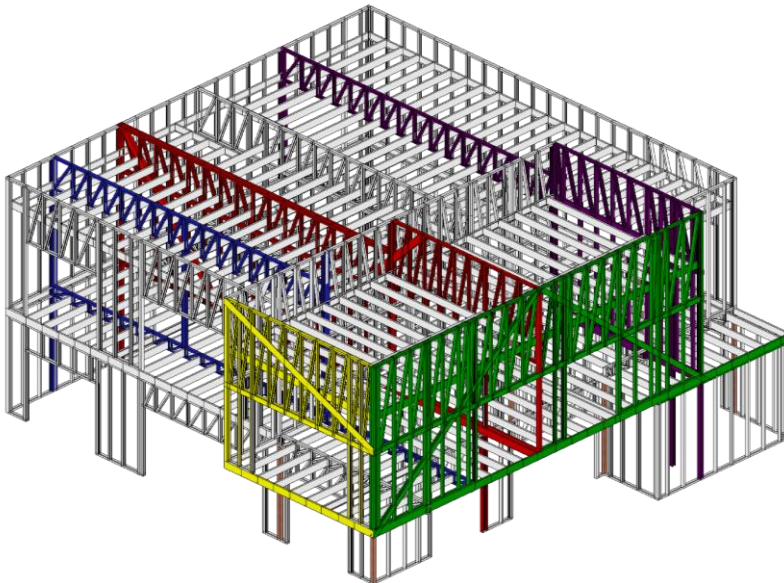


Figura 4: Esquema estructural de la vivienda

La solución adoptada fue la de generar un sistema estructural mediante cerchas en la cubierta, lo que permitiría colgar la planta primera, liberando el espacio en planta baja para el salón. Otra serie de cerchas permitirían realizar el voladizo. Este esquema estructural consigue llevar las cargas hacia los puntos donde se ubican los pilares y los muros de sótano. La estructura se llevó a cabo con perfiles de 1,5mm de espesor, usándose C100 para los montantes y C220 para las vigas del forjado.

El elemento más singular de la estructura es la parte que se señala en el siguiente esquema:

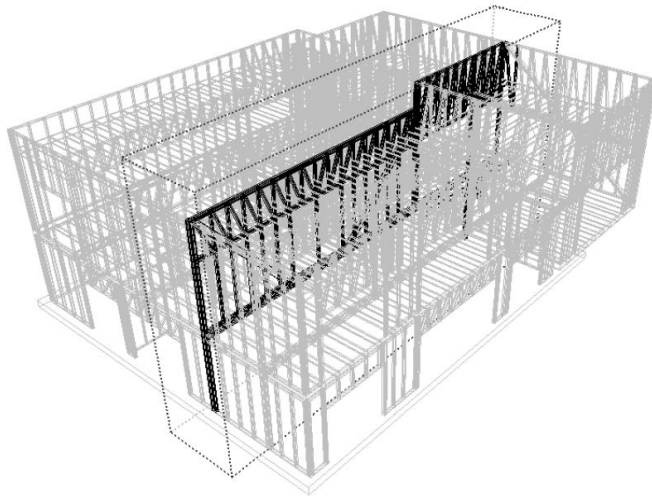


Figura 5: Cercha principal



Figura 6: Imágenes del proceso constructivo.

Estrado para la beatificación de d. Alvaro del Portillo (Madrid)

La siguiente obra muestra las espectaculares posibilidades del steel framing. Se trata del estrado utilizado para la beatificación de d. Alvaro del Portillo que tuvo lugar en Madrid en septiembre de 2014. El estrado, al ser una estructura efímera se había planteado inicialmente para su resolución mediante mecanotubo, sin embargo la apariencia estética provocó muchos recelos lo que abrió la vía a buscar nuevas soluciones estructurales planteándose la estructura mediante el sistema LGSF.

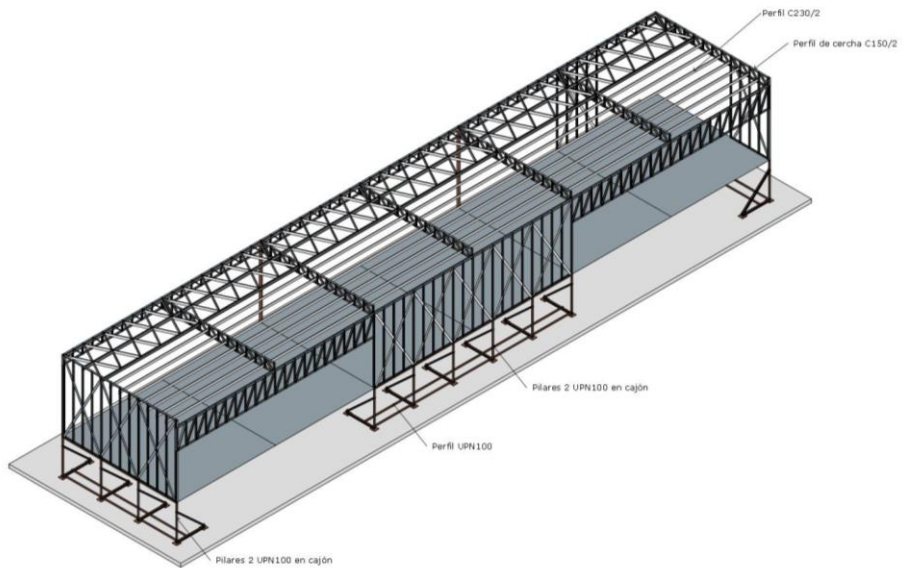


Figura 7: Axonometría de la estructura.

El estrado de 68 x 13 m, debía estar elevado a más de 4 m del suelo para permitir que los más de 200.000 asistentes a la ceremonia pudieran verlo. La principal dificultad de la estructura fue el viento, que en esta zona abierta de Madrid actúa con bastante fuerza, y la imposibilidad de poder tocar la estructura de mecanotubo provocó que tuviéramos que usar perfiles de acero laminado, que anclaran la estructura al suelo y evitaran la succión de la cubierta del estrado.

Parte de la estructura se montó en taller y se unió en obra mediante camión-grúa. Fue recubierta mediante tablero de OSB. A continuación se describe el proceso constructivo.

Proyecto de estructuras de steel framing



CONCLUSIONES

- Entender el uso del steel framing como un todo constructivo permite desarrollar una arquitectura más rápida, limpia y económica.
- El sistema LGSF aporta ventajas en su uso en edificación y especialmente indicado para rehabilitación.
- El futuro del proyecto de estructuras de chapa delgada es prometedor tanto para la práctica profesional como para su desarrollo teórico gracias a las novedades conceptuales que aporta el DSM.

REFERENCIAS

AISI 2012 : “*Commentary on Appendix 1 –Design of Cold-Formed Steel Structural Members Using the Direct Strength Method*”.

AISI 2001, “*Prescriptive Method for One and Two Family Dwellings*”

Bettina Brune & Teoman Peköz. 2013. “*Design of cold-formed steel members – comparison of EN 1993-1-3 and Direct Strength Method.*” Steel Construction 6, 2013

EN 1993 Part 1-3: *Supplementary rules for cold-formed members and sheeting*”.

San Salvador, Luis. “*Conferencia para la reunion del Evolution Group for CEN TC250 SC3*”, Madrid, febrero de 2015.

Schafer, B. W.: *Review: The Direct Strength Method of cold-formed steel member design*. Journal of Constructional Steel Research 64 (2008)

Schafer, B. W.: <http://www.ce.jhu.edu/bschafer/>